

Plataforma de Pesquisa Reprodutível para Qualidade de Energia Elétrica

Arthur C. Piazzzi, Augusto S. Cerqueira,
Leandro R. Manso, Carlos A. Duque
Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
E-mail: arthur.piazzzi@engenharia.ufjf.br

Paulo F. Ribeiro
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
E-mail: pfribeiro@ieee.org

Tiago F. Duque
Universidade Federal Fluminense
E-mail: tfduque@hotmail.com

Resumo—O conceito de pesquisa reprodutível vem ganhando importância nos últimos anos. Pesquisas facilmente reproduzíveis podem ter resultados atestados e sua pesquisa avançada por outros pesquisadores. Para atingir tal objetivo, diversas etapas devem ser seguidas, como a divulgação do código, divulgação do banco de dados usado, parâmetros escolhidos, softwares e versões utilizados na pesquisa, entre outras. O presente trabalho, a fim de criar uma ferramenta para agilizar a difusão de conhecimento, propõe uma plataforma web para pesquisas reprodutível de rotinas para a Qualidade de Energia Elétrica (QEE).

Palavras-chaves—Pesquisa Reprodutível, Qualidade de Energia Elétrica, Plataforma Web.

I. INTRODUÇÃO

Vivemos em uma época onde o conhecimento científico tem se expandido e modificado de forma acelerada. Tamanha dinamicidade é sustentada não somente pelas tecnologias disponíveis atualmente, mas também pelo grande acesso à informação. A possibilidade de acesso às pesquisas, conferiu ao processo de expansão do conhecimento à velocidade que conhecemos hoje.

No processo de avanço científico, a disseminação dos resultados e métodos, são tão importantes quanto a própria pesquisa. O propósito de existência de congressos, feiras e revistas científicas é realizar difusão dos progressos tecnológicos.

Entretanto, ainda existem barreiras que dificultam um aspecto importante da investigação científica, que é a dificuldade de atestar ou reproduzir os resultados dos artigos, principalmente na área de engenharia que tem se apoiado cada vez mais em métodos computacionais. Campos atuais de pesquisa como processamento digital de sinais, reconhecimento de padrões, entre outros, apresentam uma grande pluralidade de soluções para solucionar um mesmo problema. Dificultando assim, uma padronização e consolidação de técnicas.

Nas últimas décadas, o conceito de pesquisa reprodutível (RR) vem ganhando força na comunidade científica. É

possível citar exemplos de iniciativas em prol da RR, como *Code Ocean*®, uma plataforma web onde é possível armazenar, compartilhar e executar algoritmos. Outro exemplo notório é a plataforma BEAT (*Biometrics Evaluation and Testing*)[1], criada para divulgação e avaliação de algoritmos relacionados à segurança biométrica, buscando consolidação de tecnologias nesta área. Outro caso relacionado seria o da revista *Nature* que desde de 2004 exige que o código fonte seja publicado junto com artigo[2].

Em [3], é defendida a ideia que a metodologia científica computacional só poderá ser aceita como um ramo consolidado junto com a metodologia dedutiva e empírica, através da reprodutibilidade das pesquisas. Já em [4], é dito que a ciência perdeu o rumo devido à impossibilidade de atestar resultados alegados em publicações. Pesquisas facilmente reproduzíveis além de catalisarem o avanço científico, possuem maior visibilidade e impacto. Segundo [5], artigos que disponibilizam o código fonte são citados em média três vezes mais que artigos que não disponibilizam.

A análise da Qualidade de Energia Elétrica (QEE) é um campo de estudo importante e que faz cada vez mais uso de técnicas computacionais para análise de grandes conjuntos de dados. Especialmente no contexto das redes inteligentes [6], a quantidade de dados disponíveis para análise no sistema elétrico de potência vai aumentar muito em relação às redes atuais, exigindo ferramentas computacionais de análise cada vez mais complexas. Isto aumentará ainda mais a necessidade da reprodutibilidade nas pesquisas, visando acelerar a consolidação e as análises de QEE no contexto das redes inteligentes.

Desta forma, o presente trabalho propõe a criação de uma plataforma *Web*, que permita a reprodutibilidade das pesquisas, voltada para a área de QEE, baseando-se em [1]. A referida plataforma apresenta duplo objetivo, i) Oferecer uma ferramenta web para análise de sinais elétricos, ii) Criar um ambiente que facilite a disseminação e comparação de algoritmos e acessibilidade a banco de dados e parâmetros utilizados, garantindo a reprodutibilidade dos métodos incorporados a plataforma.

Os autores deste trabalho querem agradecer a Universidade Federal de Juiz de Fora, a CAPES, ao CNPQ e a FAPEMIG pelo suporte a essa pesquisa.

II. PLATAFORMA DE PESQUISA REPRODUTÍVEL PARA QEE

A necessidade de reprodutibilidade está aumentando drasticamente à medida que as análises de dados se tornam mais complexas, envolvendo conjuntos de dados maiores e algoritmos computacionais mais sofisticadas. Reprodutibilidade permite que as pessoas se concentrem no conteúdo real de uma análise ao invés de detalhes superficiais relatados em um artigo. Além disso, a reprodutibilidade torna a análise mais útil para terceiros porque os dados e o código que conduziram a análise estão disponíveis[7].

Pesquisadores da área de QEE, comumente enfrentam dificuldades para validar novos métodos apresentados na literatura. Assim como as demais áreas que se apoiam no desenvolvimento científico computacional, o volume de inovações, a pluralidade de abordagens e a alta complexidade dos problemas a serem mitigados, dificultam o estabelecimento de *benchmark* na área e tornam a revisão empírica muito maçante ou até mesmo inviável. Adicionalmente, o processo de revisão pode ser ainda mais complicado quando nos deparamos com pesquisas irreprodutíveis ou dificilmente reprodutíveis.

A maioria dos jornais e congressos não exigem que seus autores forneçam uma pesquisa replicável, desta forma a maioria dos pesquisadores não se preocupam em realizar este trabalho extra. É necessário tornar este processo o mais simples possível, para incentivar tal prática.

Nesta seção, apresentamos os requisitos da plataforma de pesquisa reprodutível para QEE. A plataforma é composta de três partes principais: o Repositório de Rotinas, o Repositório de experimentos e uma interface voltada para a análise de sinais.

A. Repositório de Rotinas

A intenção de publicar uma pesquisa é realizar contribuições na sua área de atuação, o impacto de uma pesquisa está diretamente relacionado ao número de pessoas que aceitam seus resultados. Dentre o grande volume de publicações e inovações sendo produzidas diariamente, trabalhos com metodologia clara e resultados inquestionáveis tendem a se sobressair.

Uma vez que o compartilhamento do código é o passo primordial para tornar sua pesquisa mais transparente para o público, a plataforma oferece um repositório específico para rotinas relativas a análise e monitoração da QEE. Nesse ambiente é possível compartilhar e acessar códigos de outros pesquisadores da área.

Sendo fiel ao objetivo do trabalho, que é tornar a pesquisa em QEE reprodutível e mais acessível, a linguagem estabelecida para implementação de rotinas é o *Python*, linguagem aberta e muito difundida no campo científico por suas poderosas ferramentas e bibliotecas de manipulação matemática.

Para maior comodidade, usuários da plataforma podem divulgar seus códigos de três diferentes formas, i) Compartilhamento público aos demais usuários da plataforma, ii) Acesso restrito a um grupo de usuários da plataforma, como revisores de artigos, e iii) Privado, o algoritmo pode ser executado para realizar análises, porém seu *script* não é visível.

Atualmente existem diversas opções para compartilhamento de algoritmos, porém a existência de um repositório específico para um campo do conhecimento traz algumas vantagens. Por exemplo, para um estudioso da área, um ambiente que agrega diversas rotinas em um só lugar facilita o processo de investigação e referência, ao passo que para o desenvolvedor das rotinas, a plataforma confere visibilidade de suas pesquisas.

B. Repositório de Experimento

A divulgação do código fonte, apesar de ser o primeiro passo em direção à reprodutibilidade, não é o único. Outro passo importante é o uso do mesmo conjunto de dados de entrada. Para isso a plataforma incorpora a possibilidade de arquivar sinais de entrada além de bancos de dados já incorporados de sinais elétricos reais e sintéticos como DOE/EPRI[8]. Para maior comodidade, o usuário pode submeter os sinais de entrada para a plataforma nos principais formatos de transmissão de dados de potência elétrica, PQDIF[9], COMTRADE[10] e também como documento de texto.

Entretanto, somente esses passos não garantem a reprodução, como elucidado em [11] pelo *UBC Reproducibility Group*, aonde foi observado que o acesso aos mesmos dados e código resultou em apenas 30% dos trabalhos reproduzidos. Esse baixo índice de sucesso na reprodutibilidade pode ser justificado pela falta de informação de parâmetros necessários para rotina ou até mesmo pela falta de honestidade nos resultados apresentados.

Para que a plataforma atinga seu objetivo, ou seja, a reprodução de resultados de forma simples e rápida, o usuário pode salvar um experimento, que compreende a junção de dados de entrada, parâmetros utilizados e código, adicionalmente com a capacidade de execução das rotinas no servidor da plataforma. Desta forma, a pesquisa pode ser recriada através de alguns cliques, sem a necessidade de instalação de programas ou *download* de arquivos.

Ao gravar um experimento, um *URL* estático referente a pesquisa é gerado, e pode ser compartilhado junto com sua publicação. Tal recurso pode ser explorado por revisores de artigos, bem como outros leitores, uma vez que refazer os passos descritos na publicação é mais didático. Registros tanto de experimentos como de algoritmos, possuem um campo não obrigatório destinado a endereço eletrônico relevante sobre a pesquisa, como o artigo referente a pesquisa ou sítio sobre o pesquisador.

C. Análise de sinais

O intuito inicial da plataforma é apoiar a pesquisa reprodutível, mas vale a pena ressaltar a existência de outro tipo de usuário, um usuário que deseja apenas utilizar as rotinas para análise da QEE. Considerando um cenário de popularização do uso plataforma entre pesquisadores da área, a mesma reunirá diversas rotinas de processamento de sinais do sistema elétrico de potência, agregando o que há de mais novo no campo. Com isso, a plataforma apresenta o potencial de se tornar uma poderosa ferramenta de análise de sinais com acesso *on-line* e gratuito.

Dentre o universo de análises pertencentes ao campo de QEE, algumas possuem a avaliação de seus resultados mais direta, a exemplo de algoritmos de classificação de distúrbios. Para tais análises, a comparação entre métodos com a mesma finalidade será realizada de forma automatizada. Dessa forma, a consolidação de rotinas e estabelecimento de *benchmark* se torna realizável e os resultados das análises feitas pela plataforma são mais expressivas.

III. PLATAFORMA PARA ANÁLISE DE QEE

Este artigo apresenta principalmente a idéia e os principais requisitos da plataforma de pesquisa reproduzível para QEE. Nesta seção, apresentamos a plataforma desenvolvida para análise de parâmetros de QEE, parte que já foi parcialmente desenvolvida.

Para o desenvolvimento da ferramenta, optou-se em utilizar a arquitetura MVC (*Model View Controller*)[12] para o lado servidor, tal arquitetura separa as principais responsabilidades do sistema *web6*, que são administração de dados (*Model*), a apresentação dos dados (*View*) e o controle operacional (*Controller*). A divisão de responsabilidade permite uma implementação mais flexível e fácil de se manter.

Inicialmente, a implementação foi desenvolvida na linguagem Java usando o *framework Spring MVC*, posteriormente houve a transição para a linguagem *Python* fazendo o uso do *Django*, *framework* mais popular para desenvolvimento *web* da linguagem. Para o desenvolvimento do *client side*, o uso do *framework* da linguagem *JavaScript AngularJS* foi adotado, o uso de tal *framework* sana limitações encontradas no desenvolvimento *front-end*, que é estritamente realizado em HTML[13].

Ao acessar a plataforma, o usuário será direcionado a pagina de *login*, e após realizar com sucesso a autenticação do usuário, o mesmo será redirecionado a pagina inicial, conforme pode ser visto na Fig. 1.

Foram incorporadas rotinas básicas para análises de parâmetros de QEE, como cálculo de valor RMS do sinal, estimação de frequência, estimativa de distorção harmônica total e individual e decomposição harmônica. Para ilustrar o uso da plataforma para análises de sinais, algumas dessas análises são mostradas a seguir.

A Fig. 2 ilustra a análise de distorção harmônica, tal análise usa o algoritmo *Sliding Window Recursive Dis-*

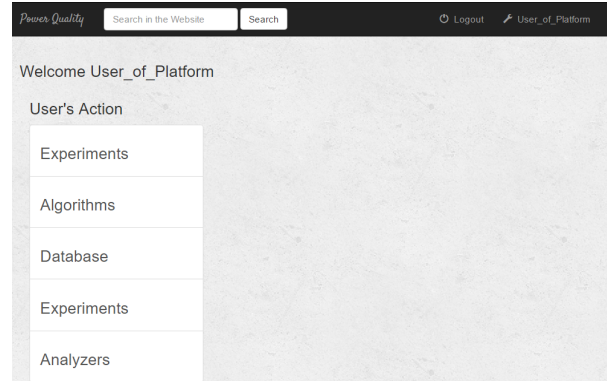


Fig. 1: Pagina inicial da plataforma.

crite Fourier Transform (SWRDFT) [14] para realizar a decomposição harmônica e a partir desses resultados é calculado os índices referentes à distorção harmônica, THD (*Total Harmonic Distortion*), IHD (*Individual Harmonic Distortion*) e *Crest Factor*.

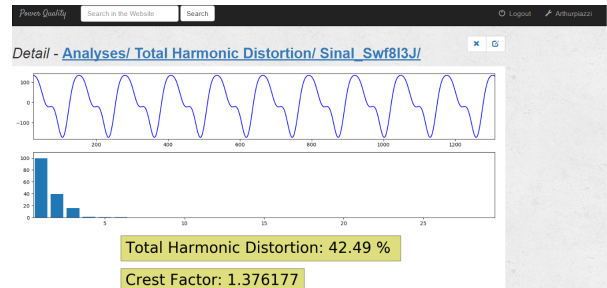


Fig. 2: Análise de componentes harmônicas.

A estimação da frequência fundamental é realizada por um algoritmo baseado na FFT (*Fast Fourier Transform*) com interpolação parabólica dos pontos de pico, usando janela de *blackman*, conforme descrito em [15]. A Fig. 3 ilustra o resultado da análise da frequência de um determinado sinal submetido.

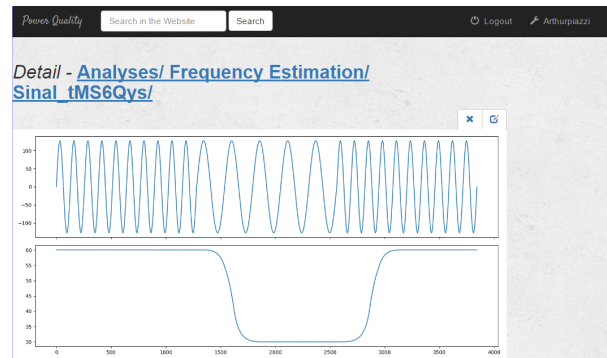


Fig. 3: Análise de frequência do componente fundamental do sinal.

O cálculo do valor RMS foi implementado utilizando uma janela retangular deslizando, com comprimento de um ciclo do componente fundamental, como mostrado em (1).

$$X_{RMS}[n] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x[n-k]^2} \quad (1)$$

em que, N é o número de pontos contidos em um ciclo da frequência fundamental, $X_{RMS}[n]$ é o valor instantâneo do RMS e $x[n-k]$ são as amostras passadas do sinal contidas na janela. Na Fig. 4, o valor RMS instantâneo do sinal está mostrado, sobreposto ao sinal de entrada. Pode-se perceber que o valor RMS acompanha a variação de amplitude do sinal.

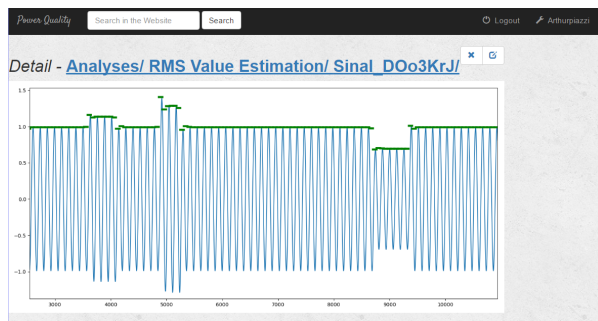


Fig. 4: Análise do valor RMS do sinal.

IV. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de técnicas e soluções para qualidade de energia é imprescindível no panorama atual do sistema elétrico de potência. No cenário atual, duas características que atrasam o avanço e a aplicação de tecnologias são a falta de reprodutibilidade de métodos publicados, dificultando o acesso a informação, e a falta de padronização de técnicas de análise.

Infelizmente, a maioria das pesquisas publicadas não seguem o paradigma da pesquisa reprodutível. O trabalho extra necessário para tornar a pesquisa transparente aos leitores, a falta de exigência por parte de revisores de congressos e revistas de pesquisas replicáveis e o receio de autores de compartilharem seus progressos inibem a prática da RR.

Devido ao grande volume de informação produzida por pesquisas na área de QEE e pluralidade de abordagens para o mesmo problema, uma falta de padronização de técnicas é notada.

Através da proposta apresentada neste trabalho, coloca-se a possibilidade de reprodução de pesquisas de maneira simples e rápida para os pesquisadores da área de QEE. Simultaneamente, a plataforma pode agregar e comparar automaticamente rotinas desenvolvidas para obtenção de *benchmark*.

Dessa forma, este trabalho contribui para o avanço mais rápido das pesquisas na área de análise e monitoração

do sinal do sistema elétrico de potência, fornecendo uma ferramenta colaborativa para a análise da QEE, gratuita e de fácil acessibilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Marcel, S. "BEAT – biometrics evaluation and testing", in Biometric Technology Today, Volume 2013, Issue 1, January 2013, Pages 5–7.
- [2] Nature editorial. "Journals unite for reproducibility". Nature 2014;515:7. doi:10.1038/515007a.
- [3] D. L. Donoho, A. Maleki, I. U. Rahman, M. Shahram and V. Stodden, Reproducible Research in Computational Harmonic Analysis, Computing in Science and Engineering, vol. 11, no. 1, pp. 8-18, Jan./Feb. 2009, doi:10.1109/MCSE.2009.15.
- [4] "Science has lost its way, at a big cost to humanity," Los Angeles Times, Oct 27, 2013. <http://www.latimes.com/business/la-fi-hiltzik-20131027,0,1228881.column>.
- [5] P. Vandewalle, "Code Sharing Is Associated with Research Impact in Image Processing", in Computing in Science Engineering, vol. 14, no. 4, pp. 42-47, July-Aug. 2012. doi: 10.1109/MCSE.2012.63.
- [6] FARHANGI, Hassan. The path of the smart grid. IEEE power and energy magazine, v. 8, n. 1, 2010.
- [7] Peng R., Leek J., Caffo B., "Reproducible Research", Johns Hopkins University. <https://pt.coursera.org/learn/reproducible-research>.
- [8] DOE/EPRI National Database Repository of Power System Events, Electrical Power Research Institute. Disponível em "http://pqmon.epri.com/disturbance_library/".
- [9] "IEEE Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data", IEEE Std 1159.3-2003, pp. 1-119, 2004, doi: 10.1109/IEEESTD.2004. 94416
- [10] "IEEE standard common format for transient data exchange for power systems", IEEE Trans. Power Del., vol. 14, no. 1, pp. 116-124, Mar. 1999.
- [11] Gilbert, K.J., Andrew, R.L., Bock, D.G., Franklin, M.T., Kane, N.C., Moore, J-S., Moyers, B.T., Renaut, S., Rennison, D.J., Veen, T., Vines, T.H. "Recommendations for utilizing and reporting population genetic analyses: the reproducibility of genetic clustering using the program STRUCTURE". Molecular Ecology, 2012.
- [12] KRASNER, Glenn E. et al. A description of the model-view-controller user interface paradigm in the smalltalk-80 system. Journal of object oriented programming, v. 1, n. 3, p. 26-49, 1988.
- [13] Green, Brad; Seshadri, Shyam (March 22, 2013). "AngularJS". 1st ed. [S.l.]: O'Reilly Media. p. 150. ISBN 978-1449344856.
- [14] P. F. Ribeiro C. A. Duque P. M. da Silveira A.S. Cerqueira "Power Systems Signal Processing for Smart Grids" in Chichester United Kingdom: Wiley.

- [15] GASIOR, M.; GONZALEZ, J. L. Improving FFT frequency measurement resolution by parabolic and Gaussian spectrum interpolation. In: SHEA, Thomas; SIBLEY III, R. Coles (Ed.). AIP Conference Proceedings. AIP, 2004. p. 276-285.